

ALPISTE: EFECTOS DE SOMBREOS ANTES Y DESPUÉS DE ANTESIS SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANOS Y SUS COMPONENTES

J.L. BODEGA; M.A. DE DIOS y M.M. PEREYRA IRAOLA¹

Recibido: 27/09/10

Aceptado: 09/11/10

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos que tiene la reducción de la radiación incidente, en distintos momentos del desarrollo, sobre: (a) el rendimiento de semillas y sus componentes, (b) la producción de biomasa, el índice de cosecha, el índice de fertilidad; (c) la relación entre el rendimiento y el cociente fototermal para el período crítico determinado. El trabajo fue realizado durante los ciclos agrícolas 2000-01; 2001-02; 2002-03 y 2003-04 en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Balcarce, provincia de Buenos Aires. Se utilizó una población de alpieste (*Phalaris canariensis* L.) a la que se le aplicaron sombreos de distinta duración antes y después de la antesis, más un tratamiento de raleo a partir de antesis. Los tratamientos de sombreo redujeron la producción de biomasa, el rendimiento de granos y el número de granos m^{-2} . El número de granos m^{-2} se asoció linealmente con el peso seco de las panojas en antesis y con el cociente fototermal calculado para los 20 días previos a antesis y los 10 días posteriores ($330\text{ }^{\circ}\text{C día}$, utilizando una temperatura base de $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Se determinó un período crítico para la determinación del rendimiento que se extiende desde fines de macollaje hasta alrededor de 22 días posteriores a antesis (76 días aprox.). También se observó que dentro de este período existe uno de menor duración en donde los sombreos produjeron las mayores mermas de rendimiento y que se extiende desde alrededor de los 35 días previos a antesis (comienzo de encañazón) hasta los 22 días posteriores (tratamientos S3 y S4). El peso de las semillas no se modificó significativamente en los tratamientos de sombreo pero el menor valor absoluto se registró en S3 y el mayor en S5.

Palabras clave. Alpieste, sombreos, rendimiento de granos, número de granos, cociente fototermal.

CANARYGRASS: THE INFLUENCE OF SHADING BEFORE AND AFTER ANTHESIS ON CANARYGRASS GRAIN YIELD AND ITS COMPONENTS

SUMMARY

The objective of this study was to analyze the effects of incident radiation reduction on canarygrass (*Phalaris canariensis* L.) (a) seed yield its components, (b) dry matter production, crop growth during panicle growth period, (c) the relationship between performance and the photothermal quotient for the critical period determined. The experimental work was carried out in the fields of the Agricultural Experimental Station of INTA Balcarce, in the province of Buenos Aires, during the 2000-2001, 2001-02, 2002-03 and 2003-04 crop seasons. Shadings of different duration were applied to a population of canarygrass before and after the period of anthesis, as well as a thinning treatment at the beginning of anthesis. Shading treatments reduced the biomass production, grain yield and grain number m^{-2} . The number of seeds m^{-2} was linearly associated with dry weight of panicles at anthesis and the photothermal quotient, estimated for the 20 days prior to anthesis and 10 days after it, ($330\text{ }^{\circ}\text{C día}$ using a base temperature of $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). We determined a critical period for seed yield that extends from the late tillering to about 22 days after anthesis (it takes 76 days approximately). We also noted that within this critical period, there is a shorter one where the shading produces the greatest yield losses and it extends from about 35 days before anthesis (beginning of stem elongation) to 22 days after it (treatments S3 and S4). The weight of seeds was not significantly altered in the treatments of shading, but the lowest absolute value was recorded in S3 and the highest in S5.

Key words. Canarygrass, shading, grain yield, grain number, photothermal quotient.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, C. C. 276, (CP 7620) Balcarce, Argentina. jlbodega@balcarce.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años los rendimientos de alpiste en la Argentina han registrado una tendencia creciente a razón de 7,8 kg/ha/año con máximos de 1.212 kg/ha y mínimos de 642 kg/ha (MAGyP, 2010). Aunque muchos factores pueden explicar estas fluctuaciones, los más importantes están relacionados con las condiciones ambientales del lugar y con las técnicas de manejo del cultivo ya que el potencial genético de las poblaciones locales no varía (Bodega *et al.*, 1995). Igual ocurre con ciertas poblaciones introducidas (Bodega *et al.*, 2003) y con el cultivar María (Bodega, 2005).

Como en otros cultivos para grano, el rendimiento de alpiste resulta de dos componentes numéricos: el número de granos que se establecen por unidad de área y el peso unitario que alcanzan. El número de semillas por unidad de superficie es el principal componente en la determinación del rendimiento. Los trabajos realizados (Bodega *et al.*, 1995, 2003; Bodega, 2005) demuestran que tanto las poblaciones locales como los cultivares introducidos presentan una estrategia similar para definir el rendimiento. En todos los casos las variaciones de rendimientos siempre estuvieron asociadas con un cambio en el número de semillas por m² sin modificaciones importantes en el peso de los granos (Bodega *et al.*, 2003). El número de granos por unidad de superficie es un componente complejo que incluye la generación y el establecimiento de las diferentes estructuras reproductivas. La importancia relativa de las distintas etapas (morfogénesis, fecundación, y primeras etapas de llenado de granos) en la fijación de granos depende de la especie (Andrade y Sadras, 2000). Aunque no se tienen referencias bibliográficas que ilustren, para alpiste, la importancia relativa, que en la determinación del rendimiento tiene, tanto la generación como la sobrevivencia de componentes del rendimiento. Las observaciones del ápice de crecimiento, realizadas por Campolietto (2006) parecieran indicar que el número de flores iniciadas, hasta comienzo de encañazón, es muy superior al de los granos formados, por lo que las pérdidas de granos potenciales se producirían con posterioridad a ese momento asemejándose en este sentido al modelo conceptual empleado en trigo por Fischer (2007). El autor ignora cualquier posible influencia directa del número de

primordios de flores formadas, sobre el número de granos y supone que las diferencias en el crecimiento temprano del cultivo son importantes solamente si afectan la formación de hojas de manera tal que no se logre una completa intercepción de la radiación en el período crítico de crecimiento de la espiga. Fischer (1985) ubica al período crítico para la determinación del número de granos en trigo en los 30 días previos a antesis y Savin y Slafer (1991), Slafer *et al.*, (2005) mencionan, en trigo, la existencia de un período crítico para la definición del número de granos el cual se extiende desde 20 días antes de floración hasta 10 días posteriores a la misma. Este período coincide con el momento de crecimiento activo de la espiga que comienza con posterioridad al estado de espiguilla terminal diferenciada y finaliza después de antesis. Estos autores también coinciden en afirmar que la supervivencia de flores está en relación directa con la disponibilidad de carbohidratos para la espiga durante este período crítico. Cualquier reducción en la disponibilidad de recursos para el cultivo en dicha etapa se traducirá en una reducción importante en el peso seco de las espigas en antesis y concomitantemente en el número de granos por m² y en el rendimiento. Para alpiste, a nivel internacional y en la Argentina, no se han encontrado trabajos que informen sobre la ubicación y duración del período crítico para la determinación del rendimiento de semillas. Con el objeto de: (a) ubicar los momentos del desarrollo en donde una reducción de la radiación incidente provoca las mayores disminuciones del rendimiento de semilla; (b) Estudiar la relación entre la producción de biomasa y el rendimiento y, entre éste y sus componentes, el índice de cosecha y el índice de fertilidad; (c) Analizar la relación entre el rendimiento y el cociente fototermal, para el período crítico determinado, se aplicaron, a una población local de alpiste, sombreos de distinta duración, en tres momentos del desarrollo más un tratamiento de raleo, a partir de antesis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado durante los ciclos agrícolas 2000-01; 2001-02; 2002-03 y 2003-04 en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina, ubicado a 37°45'

de latitud sur y 58°18' de longitud oeste y a una altitud de 130 m s.n.m. en un suelo Argiudol típico de textura franca con un horizonte superficial con las siguientes características (se menciona el rango encontrado en los cuatro años de trabajo): pH (5,7-5,9); MO= (5,6-5,9%), fósforo extractable (12-14 ppm) (Bray y Kurtz) y N-NO₃ (profundidad=0-60 cm, 40-55 kg ha⁻¹).

Se utilizó una población local de alpiste sembrada desde mediados de julio a primeros días de agosto, según los años. Las parcelas con un largo de 5,50 m por 1,40 m de ancho (7 surcos distanciados a 0,20 m), fueron sembradas con una densidad de 700 semillas m⁻², logrando densidades comprendidas entre las 580 y 650 plantas m⁻². Las semillas no fueron tratadas con fungicidas y/o insecticidas. Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Previo a la siembra todas las parcelas fueron fertilizadas con fosfato diamónico (18-46-0) a razón de 100 kg/ha. Con posterioridad (aprox. 30 días después de la emergencia) se hizo una aplicación de Nitrógeno, como urea, a razón de 55 a 60 kg/ha de N (objetivo llegar a 100 kg ha⁻¹ de N, suelo más fertilizante). Las malezas fueron controladas con herbicidas, post emergentes, 2,4-D ester (120 cc. i.a ha⁻¹) + MCPA (112 cc i.a ha⁻¹) +

Dicamba (75 cc. i.a ha⁻¹. Durante el desarrollo del cultivo no se aplicaron insecticidas ni fungicidas.

Los tratamientos evaluados fueron (Cuadro 1): testigo (S1), no recibió sombreo; sombreo por 20, 21 días comenzando entre los 50 y 65 días posteriores a la emergencia, coincidiendo con macollaje, (plantas con 5,6 hojas y 1 o 2 macollos (Z. 21-22, Zadoks, 1974) con una altura deseudotallos de 10-12 cm, (S2); sombreo previo a antesis de una duración comprendida entre los 35 y 13 días, comenzando en comienzo de encañazón o con posterioridad (según los años) (S3); sombreo, desde antesis, con una duración de 20 a 22 días (Z. 61 hasta Z. 81, Zadoks, 1974) (S4); S5, consistió en cortar, a partir de antesis, los dos surcos laterales al surco central, con el objeto de mejorar la intercepción de radiación y así analizar el efecto, que el incremento de radiación, produce sobre el número y peso de las semillas. Los sombreos en los distintos tratamientos fueron realizados con redes (media sombra) de color negro que redujeron la radiación incidente (Ri) en un 50 ± 5%. Las redes fueron colocadas de tal forma que quedaran suspendidas 25 a 30 cm por encima de la canopia del cultivo. En estas condiciones la temperatura del aire en las parcelas sombreadas fue de alrededor de 1°C menor que en el testigo.

CUADRO 1. Etapas fenológicas del cultivo: Siembra (S), Emergencia (E), Antesis (A), Cosecha (C) fechas en las que se realizaron los distintos tratamientos de sombreo S2, S3, S4, duración del tratamiento de sombreo (D.S) y disminución del rendimiento en relación con el testigo (=100%) (DR%) para los años 2000 (a), 2001 (b), 2002 (c) y 2003 (d).

27-7	16-8	5-10	26-10	23-11	14-12	22-12
a	Tratamiento	S2	S3	S4		
a	D. S (días)	21	28	21		
a	D.R.(%)	22	48	36		
S	E			A		C

24-7	5-8	4-10	24-10	28-11	19-12	27-12
b	Tratamiento	S2	S3	S4		
b	D. S (días)	20	35	21		
b	D.R.(%)	23	50	45		
S	E			A		C

5-8	24-8	16-10	6-11	20-11	11-12	28-12
c	Tratamiento	S2	S3	S4		
c	D. S (días)	21	14	21		
c	D.R.(%)	12	35	22		
S	E			A		C

17-7	5-8	9-10	29-10	26-11	3-12	22-12
d	Tratamiento	S2	S3	S4		
d	D. S (días)	20	13	22		
c	D.R.(%)	12	36	22		
S	E			A		C

(Z. 81, Zadoks, 1974) (duración de 76 días aproximadamente). También se observó que dentro de este amplio período existe uno de menor duración en donde los sombros produjeron las mayores mermas de rendimiento de semillas y que se extiende desde los 35 días previos a antesis (Z. 30-31, Zadoks, 1974) hasta los 22 días posteriores (tratamientos S3 y S4).

Medidas y observaciones del cultivo

Los estados de crecimiento fueron descriptos de acuerdo con el código decimal propuesto por Zadoks *et al.* (1974). La producción de materia seca se estimó en los estados de: antesis (61, Zadoks *et al.*, 1974) y cosecha (93, Zadoks *et al.*, 1974). En cada muestreo se cortaron a nivel del suelo las plantas correspondientes a 0,50 m de los 5 surcos centrales (0,5 m²) de cada parcela. La muestra fue colocada en estufa de secado a 70 °C por 96 h. En antesis, después del corte, se separaron las panojas del resto de la planta para estimar por separado la materia seca de las panojas sin semillas. En cosecha se registró el peso seco total (biomasa). La radiación solar incidente obtenida de la Estación Meteorológica de la E.E.A. Balcarce fue convertida a radiación fotosintéticamente activa (RFAInc) usando un factor de 0,48 (Andrade, 1995). El porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAInt) fue calculada como $(1 - (I_i/I_o))$ donde I_i es el valor de la RFAInt en la parte inferior del canopeo, I_o es la RFAInc en la parte superior del canopeo. Los valores de I_i e I_o fueron obtenidos con un radiómetro Cavadevises, Modelo 2010-dual, las determinaciones se hicieron entre las 11,3 h y las 13 h. Se realizaron tres mediciones por parcela. El cociente fototermal (Q) se calculó de la forma descripta por Fischer (1985) para distinta duraciones del período crítico [$Q = (RFAInt_{promedi}) / (Temperatura_{diaria_{promedi}} - Temperatura_{base})$]. El rendimiento de semillas y número de panojas m⁻² fue medido, en cada parcela, cosechando una superficie de 0,5 m². La trilla se realizó con una trilladora estática. El peso de 1.000 semillas se determinó utilizando, dos muestras de 500 semillas por parcela. El número de semillas por panoja se estimó como el cociente entre el número de semillas por m² y el número de panojas m⁻². El número de semillas m⁻² se determinó en base al rendimiento de semillas y el peso de 1.000 semillas. El rendimiento potencial de semillas utilizando los parámetros (cociente fototermal, duración del período crítico, tasa de crecimiento del cultivo, partición de materia seca a la panoja e índice de fertilidad) de alpiste, se calcularon siguiendo a Fischer (1985). La información climatológica fue obtenida de la Estación Meteorológica de la E.E.A. Balcarce

distante a 150 m del lugar del ensayo. Los análisis de varianza, regresión y correlación de las variables bajo estudio fueron realizados utilizando el programa estadísticos InfoStat. Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó el test de diferencias mínimas significativas (dms), para la comparación de los promedios de tratamientos, con un nivel de significancia $P < 0,05$.

RESULTADOS

Fenología

Los tratamientos de sombreado y de raleo no modificaron el comportamiento fenológico del cultivo. Las distintas duraciones del ciclo total, entre los años, se deben a los diferentes momentos de siembra y emergencia. La antesis, en los cuatro años, tuvo lugar en la segunda quincena de noviembre (Cuadro 1).

Radiación interceptada y producción de biomasa

El análisis estadístico de la producción de biomasa, detectó diferencias significativas entre años y entre tratamientos siendo no significativas las interacciones. El valor total de RFAInc, en la estación de crecimiento, presentó ligeras variaciones en los cuatro años (Cuadro 2). Del total de RFAInc los cultivos interceptaron, en promedio, un 64%, con un rango comprendido entre el 55% y el 71%. El menor valor, de interceptación, del año 2002 fue el resultado del acortamiento del ciclo del cultivo consecuencia de una siembra retrasada (mes de agosto). Los tratamientos de sombreado redujeron la RFAInt, por el cultivo (promedio de los tres años) en un 14% para el tratamiento S2, y en un 17% para los tratamientos S3 y S4. Estas reducciones en la RFAInt se correspondieron con disminuciones, en los valores de producción de materia seca a cosecha que en promedio y en relación con el testigo (1.225,2 g m⁻²) fueron del 6,4% en el tratamiento S2, del 18,4% en S3 y 13,9% en S4. El tratamiento S5, por efecto del raleo, tuvo un incremento del 3,4%, sin diferencias significativas ($P < 0,05$) con S1.

CUADRO 2. Ciclo de Emergencia (E) a cosecha (C), Radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAInc) entre emergencia y cosecha, Radiación fotosintéticamente activa interceptada en % (RFAInt.) entre emergencia y cosecha, Biomasa en cosecha, Rendimiento de semillas para los tratamientos S1 en los años 2000,2001,2002 y 2003.

Años	Ciclo E-C (días)	RFA Inc. E-C (MJ m ⁻² día ⁻¹)	RFAInt. E-C %	Biomasa en cosecha g m ⁻²	Rendimiento de semillas g -m ⁻²
2000	128	888	70	1.268 a	1.557 a
2001	144	1.075	71	1.372 a	1.575 a
2002	126	930	55	1.034 b	1.225 b
2003	146	1.005	59	892 b	958 b

* Los valores seguidos por la misma letra, dentro de cada columna, no difieren significativamente $P<0,05$.

La biomasa total se relacionó positivamente con el rendimiento de granos ($r^2=0,96$, $P<0,05$) para los tratamientos testigos, cuando se consideraron todos los tratamientos (Fig. 1) la relación entre estas dos variables, aunque significativa no fue tan alta ($r^2=0,67$; $n=20$; $P<0,05$). El rendimiento de semillas y el índice de cosecha presentaron una baja correlación ($r^2=0,46$). El tratamiento S5 con un índice de cosecha de 11,9, promedio de los tres años de ensayos, no difirió del tratamiento S1 (11,9). Los tratamientos S3 (8,9) y S4 (8,1) sin diferencias significativas, entre ellos tuvieron los menores valores ($P<0,05$). Los sombreos realizados previos a antesis no modificaron la capacidad del cultivar para interceptar radiación con posterioridad. En cada uno de los años, los tratamientos S2 y S3 llegaron a antesis interceptando más del 85% de la radiación solar incidente, sin diferencias significativas ($P<0,05$) con S1.

Rendimiento de semillas

Desde el punto de vista climático (Cuadro 3), los cuatro años tuvieron condiciones muy favorables de temperatura y humedad para dar buenos rendimientos. No obstante en los años 2002 y 2003 el excesivo crecimiento, en altura de las plantas, acompañado de primaveras con vientos fuertes, hicieron que los cultivos se volcaran, previo a antesis, resintiéndose tanto la producción de biomasa como la de semillas.

Todos los tratamientos de sombreo produjeron mermas, estadísticamente significativas ($p<0,05$) en los rendimientos de granos. Los tratamientos S2 que

incluyeron períodos de sombreo con duraciones de 20 a 21 días y que finalizaron entre los 55 y 33 días previos a antesis redujeron los rendimientos de semillas en un 17% (valores promedios de los cuatro años) lo que resultó significativamente distinto de S1, S3, S4 y S5 ($P<0,05$). La mayor sensibilidad ocurrió con sombreos, de distinta duración, que tuvieron lugar desde los 35 días previos a antesis hasta los 22 días posteriores a la misma, las disminuciones de rendimiento (promedio de los cuatro años) fueron del 42% (S3) y del 28% (S4). (Cuadro 1, Fig. 2).

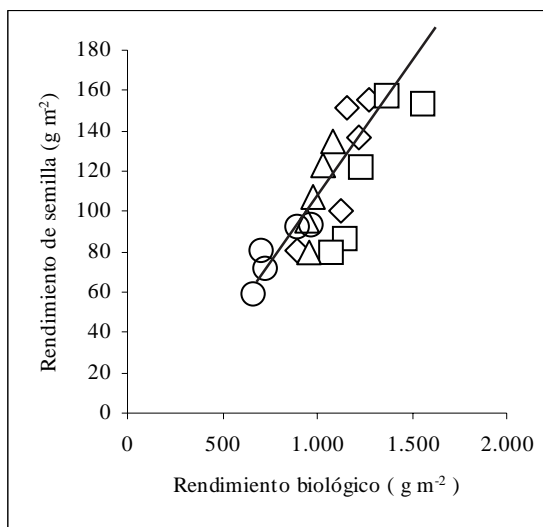


FIGURA 1. Relación entre el rendimiento de semillas y el rendimiento biológico para los tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5 en los años 2000 (◇), 2001 (△), 2002 (□) y 2003 (○). ($y=0,1141x-11,37$; $r^2=0,67$).

Resulta interesante observar como durante el período previo a antesis la duración del sombreado afectó diferencialmente los rendimientos de semillas (Cuadro 1). Así en los años 2000 y 2001, con duraciones del sombreado de 28 y 35 días se produjeron reducciones en los rendimientos promedio del 49% mientras que durante el mismo período y con sombreados de 13 y 14 días (años 2002 y 2003) las mermas de rendimiento llegaron en promedio al 36%. Este comportamiento diferencial podría estar indicando algún efecto compensador del cultivo ante condiciones de estrés no muy prolongadas.

Componentes del rendimiento

Las disminuciones del rendimiento de semillas, en los tratamientos con sombreados, estuvieron altamente correlacionadas con el cambio en el número de semillas m^{-2} ($r^2 = 0,95$, $P < 0,05$, $n=20$) (Fig. 3). La

reducción del número de semillas m^{-2} , en los tratamientos S2, S3 y S4, surgió como consecuencia de la disminución del número de semillas por panoja ($r^2 = 0,79$; $P < 0,05$; $n=20$) (Fig. 4) mientras que el número de panojas m^{-2} presentó diferencias significativas solo, en uno de los tres años (Fig. 5), y tuvo una baja correlación (0,25 con el número de semillas m^{-2}).

El peso de las 1.000 semillas aunque experimentó pequeños cambios con los años y con los tratamientos no compensó las variaciones en los rendimientos producidas por los cambios en el número de semillas y presentó una baja relación con el rendimiento ($r^2 = 0,04$). En el Cuadro 4 se puede observar que el sombreado realizado en S4 redujo, significativamente $P < 0,05$, el peso de las semillas en tres de los cuatro años analizados. Mientras que el tratamiento de raleo (S5), aunque no difirió estadísticamente del testigo en el peso de las semillas, todos los años presentó el mayor valor absoluto.

CUADRO 3. Temperaturas, precipitaciones y radiación solar incidente, mensual, de los años 2000, 2001, 2002, 2003 y valores promedios de los últimos 24 años para Balcarce, Pcia. de Buenos Aires.

Meses	2000	2001	2002	2003	24 ^z
Temperatura promedio (°C)					
Junio	9,5	8,9	7,0	9,5	8,6
Julio	6,4	7,0	7,7	7,5	7,7
Agosto	8,0	10,8	8,9	8,3	9,2
Setiembre	9,8	10,6	10,1	10,5	10,5
Octubre	12,5	14,6	14,8	13,9	13,4
Noviembre	15,3	15,5	16,8	15,5	16,2
Diciembre	18,5	18,7	19,4	18,0	18,9
Precipitaciones (mm)					
Junio	82,2	66,1	17,6	60,5	50,5
Julio	14,6	25,9	44,7	68,5	44,5
Agosto	52,0	118,4	100,3	48,8	51,8
Setiembre	61,0	103,4	90,2	54,4	60,3
Octubre	96,5	156,4	275,8	107,7	98,8
Noviembre	34,6	197,7	168,7	142,4	96,8
Diciembre	83,3	122,5	38,5	136,3	97,3
Radiación incidente MJ m^{-2} día ⁻¹					
Junio	5,8	5,8	6,6	5,5	6
Julio	5,9	5,2	6,4	6,4	6
Agosto	7,3	7,7	7	8,7	9,0
Setiembre	10,4	11	12,7	10,9	12,6
Octubre	15,6	11,1	16,9	16,9	16,2
Noviembre	20,1	21,3	19,4	20,5	19,6
Diciembre	22,2	23,3	23,3	21,7	21,8

^z Media de los últimos 24 años (1985 a 2008).

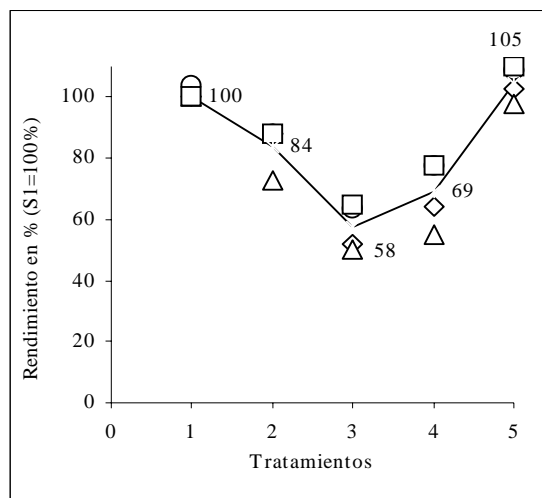


FIGURA 2. Rendimiento de semillas expresado en porcentaje del testigo (S1) para los tratamientos S1=1, S2=2, S3=3, S4=4 y S5=5 en los años 2000 (◇), 2001 (△), 2002 (□) y 2003 (○) y promedio de los cuatro años por tratamiento (-).

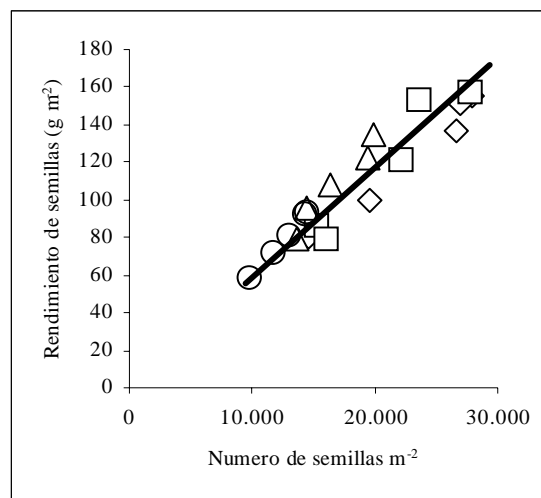


FIGURA 3. Relación entre el rendimiento de semillas g m^{-2} y el número de semillas por m^2 . Tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000 (◇), 2001 (△), 2002 (□) y 2003 (○) ($y=0,0061x+0,355$; $r^2=0,95$).

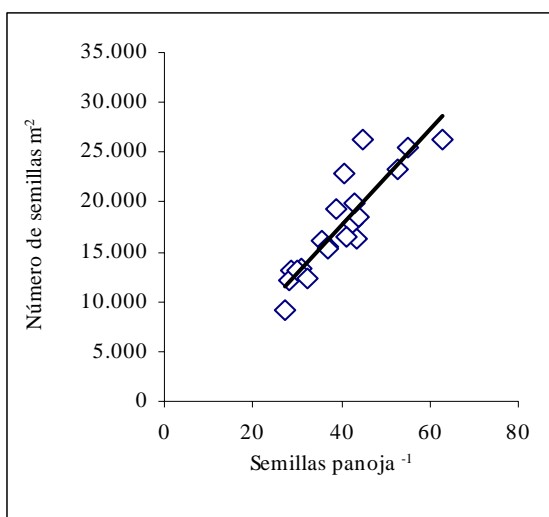


FIGURA 4. Relación entre el número de semillas m^{-2} y las semillas por panoja. Tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000, 2001, 2002 y 2003 ($y=476,4x-1349,9$; $r^2=0,79$).

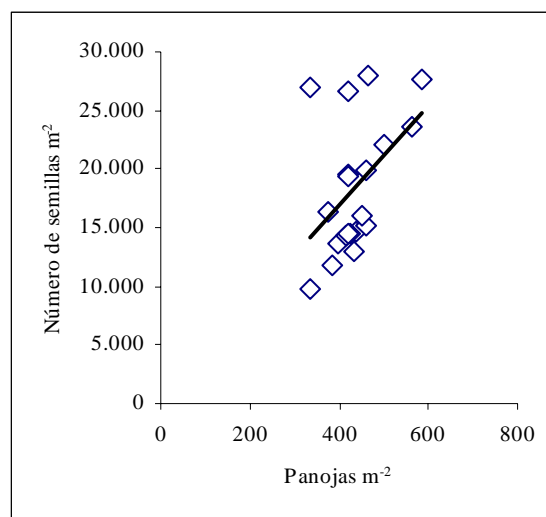


FIGURA 5. Relación entre el número de semillas m^{-2} y el número de panojas m^{-2} . Tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000, 2001, 2002 y 2003 ($y=42,8x-278,5$; $r^2=0,25$).

Tasa de crecimiento del cultivo durante el período de crecimiento rápido de la panoja

La tasa de crecimiento tomada desde el comienzo de encañazón a antesis, en los tratamientos S1 y S3, se relacionó linealmente con el número de granos (r^2

$=0,96$, $P<0,05$, $n=20$) (Fig. 6). El sombreo redujo la tasa de crecimiento del cultivo en relación directa a la reducción de radiación. Así en el tratamiento S2, la tasa de crecimiento, promedio de los cuatro años, $8,45 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, fue un 44% inferior, que el tratamien-

CUADRO 4. Rendimiento de semillas y peso de 1.000 semillas para los distintos tratamientos de sombreado S2, S3, S4 para los años 2000, 2001, 2002 y 2003.

Tratamientos	Rendimiento de semilla (kg ha ⁻¹)				Peso 1.000 semillas (mg)			
	2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
Testigo (S1)	1.557 a	1.575 a	1.225 a	958 a	6,1 a	6,0 b	6,6 a	6,2
S(2)	1.368 b	1.141 b	1.075 b	810 b	5,9 ab	5,9 b	6,6 a	6,2
S(3)	804 d	793 c	795 c	586 c	6,0 a	6,0 b	6,6 a	6,4
S (4)	1.001 c	869 c	953 b	717 b	5,6 b	5,4 c	5,8 b	5,8
S (5)	1.516 a	1.536 a	1.346 a	1.001 a	6,1 a	6,7 a	6,8 a	6,5

ns

* Los valores seguidos por la misma letra, dentro de cada año, no difieren significativamente $P < 0,05$; ns no significativo $P < 0,05$.

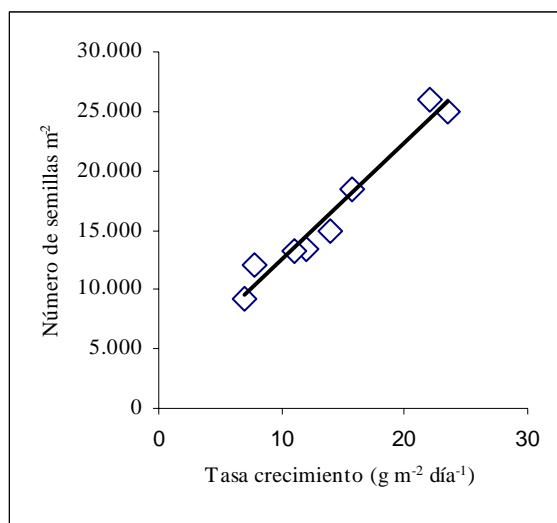


FIGURA 6. Relación entre el número de semillas m⁻² y la tasa de crecimiento del cultivo para los tratamientos S1 y S3 en los años 2000, 2001, 2002 y 2003 ($y = 988,63x + 2561,9$; $r^2 = 0,96$).

to S1 (15 g m⁻² día⁻¹). La misma situación ocurrió en el tratamiento S3, pero con implicancias distintas ya que en esta etapa tuvo lugar el crecimiento de la panoja y la definición del número de granos y con ello el rendimiento del cultivo. Durante el mes anterior a la antesis el cultivo, en los cuatro años de ensayo, había alcanzado valores de interceptación de radiación superiores al 85%. En estas condiciones y durante este período, la tasa de crecimiento del cultivo, en promedio, se redujo de 20 g m⁻² día⁻¹, en S1, a 11,5 g m⁻² día⁻¹ en S3. El crecimiento por unidad de radiación solar interceptada durante este período, calculadas según Fischer (1985), arrojó valores de $2,2 \pm 0,1$ g MJ⁻¹.

Peso seco de la panoja en antesis y partición de materia seca a la panoja

El peso seco de las panojas en antesis se relacionó positivamente con el número de granos por m⁻² ($r^2 = 0,78$; $P < 0,05$; $n = 20$; Fig. 7). Al analizar el peso seco de las panojas en función de sus dos componentes: (a): la duración del período de crecimiento y (b) su tasa de crecimiento, se observa que la modificación en el peso seco de las panojas surge como conse-

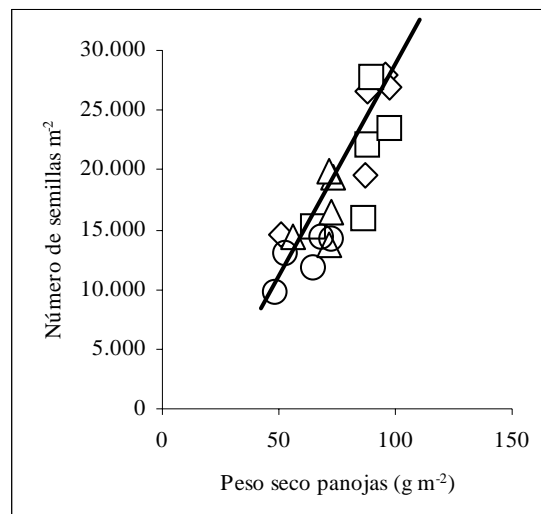


FIGURA 7. Relación entre el número de semillas m⁻² y el peso seco de las panojas para los tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000 (◇), 2001 (△), 2002 (□) y 2003 (○) ($y = 286,04x - 3784,1$; $r^2 = 0,81$).

cuencia de las variaciones en la tasa de crecimiento de la misma ya que la duración de la etapa no tuvo cambios por efectos del sombreo.

El peso seco de las panojas a los 30 días previos a antesis fue bajo, aproximadamente el 3% de su peso final en antesis. A partir de ese momento el peso seco de las panojas aumentó lentamente hasta aproximadamente 15 días previos a antesis (Bodega *et al.*, datos no publicados) en que se registran las mayores tasas de crecimiento con valores de $5,9 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que expresado como porcentaje de la tasa de crecimiento total ($20,3 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), representó un coeficiente de partición del 29% (Fig. 8). En la Figura 8, también se puede observar que cuando la tasa de crecimiento del cultivo descendió por debajo de 11 a 12 $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (S3) los valores de partición a la panoja aumentaron por encima del 29-30%, llegando, en promedio, a valores del 35% con un máximo del 48% en el año 2002.

Índice de fertilidad

El índice de fertilidad o sea la cantidad de materia seca de panoja, en antesis, necesaria para que se fije

una semilla (Fig. 9) fue afectado, significativamente ($p < 0,05$), en las situaciones de sombreo, previas a antesis y con posterioridad a la misma (tratamientos S3 y S4). Es así que en los tratamientos S1, S2 y S5, sin diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ellos, se necesitaron 4 mg de materia seca de panoja para que se fije una semilla mientras que en los tratamientos S3 y S4 este valor llegó a 4,8 mg de materia seca de panoja por semilla fijada. Cuando se consideró la inversa de estos valores se obtuvieron conversiones de 250 semillas por gramo de materia seca de panoja y 208 semillas por gramo de materia seca de panoja, respectivamente. Los mayores valores de los tratamientos S3 y S4 indican claramente el aborto de semillas que se producen en estos tratamientos.

Cociente fotothermal

Con la información disponible de los cuatro años en los distintos tratamientos se realizó un análisis de regresión buscando el mejor ajuste entre el número de granos m^{-2} y el cociente fotothermal calculado para: (a) 30 días previos a antesis y 10 días después, (b) 30 días previos a antesis y 20 días después (c) 20 días

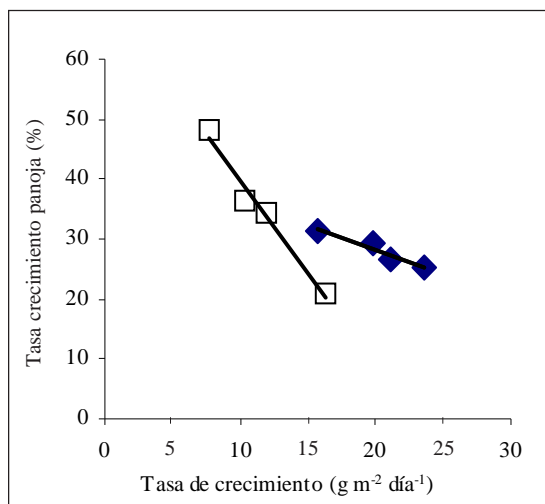


FIGURA 8. Relación entre la tasa de crecimiento de la panoja expresada en porcentaje del total y la tasa de crecimiento del cultivo para los tratamientos S1 (\diamond) ($y = -3,10x + 70,9$; $r^2 = 0,98$) y S3 (\blacklozenge) ($y = -0,778x + 43,74$; $r^2 = 0,92$) para los cuatro años de ensayo.

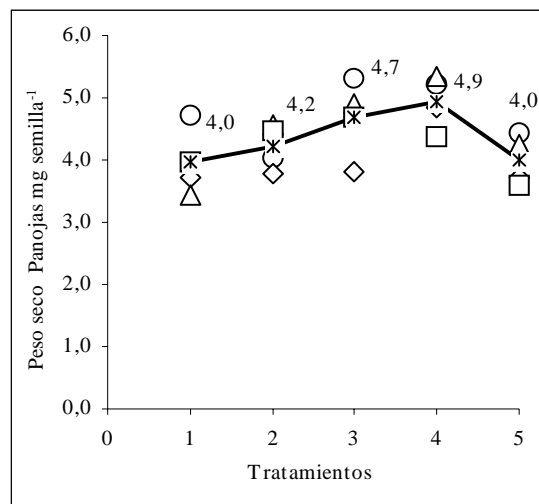


FIGURA 9. Peso seco de panojas mg semilla^{-1} para los tratamientos S1=1, S2=2, S3=3, S4=4 y S5=5, en los años 2000 (\diamond), 2001 (\triangle), 2002 (\square) y 2003 (\circ). La línea une los promedios de los tratamientos de los cuatro años.

previos a antesis y 10 días posteriores (d) 10 días previos a antesis y 10 días posteriores, (e) 20 días posteriores a antesis. Durante estos períodos la radiación vario entre los 20,6 y los 12,8 $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y la temperatura entre los 15,3 °C y los 16,8 °C.

La mejor relación entre el número de granos m^2 y el cociente fototermal se encontró para el período comprendido entre los 20 días previos a antesis y los 10 días posteriores ($r^2 = 0,84$; $P < 0,05$; $n = 20$), (Fig. 10). Este período tendría una extensión de 330 °C día por sobre una $T_b = 4,5$ (220 °C día previos a antesis y 110 °C día posteriores a antesis) (Bodega *et al.*, datos no publicados). Para ilustrar los aspectos cuantitativos de esta relación y obtener los rendimientos potenciales según radiación y temperatura, Fischer (1985) sugiere el siguiente cálculo: considerando, para alpiste, un período crítico de 330 °C día por sobre una temperatura base de 4,5 °C, y un cociente fototermal de 0,93 $\text{Mj m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (variable de acuerdo con los tratamientos) obtenemos 306,9 Mj m^{-2} . Como el cultivo crece a una tasa promedio de 2,2 g Mj^{-1} , los 306,9 Mj m^{-2} se corresponde con 675,2 g m^{-2} de materia seca para este período. Si de este total consideramos una partición a la panoja del 29% se obtendrán 227 g de materia seca de panoja en antesis, que con un coeficiente de fertilidad de 250 semillas por gramo de panoja nos arrojaría 48.951 semillas por m^2 . Tomando un peso de 1.000 semillas de 6,1 g obtenemos un rendimiento de 2.996 kg ha^{-1} . Los valores así calculados para todos los tratamientos en los cuatro años, prácticamente superan entre un 46% y un 57% los rendimientos obtenidos en este trabajo (Cuadro 5 y Fig. 11).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo, aplicando sombreos, indican que el período crítico para la determinación del rendimiento de alpiste se extiende desde fines de macollaje (Z. 22 con una altura de pseudotallos de 10 cm, Zadoks, 1974) hasta alrededor de 22 días

posteriores a antesis (Z. 81, Zadoks, 1974) (duración de 76 días aproximadamente. También se observó que dentro de este amplio período existe uno de menor duración en donde los sombreos produjeron las

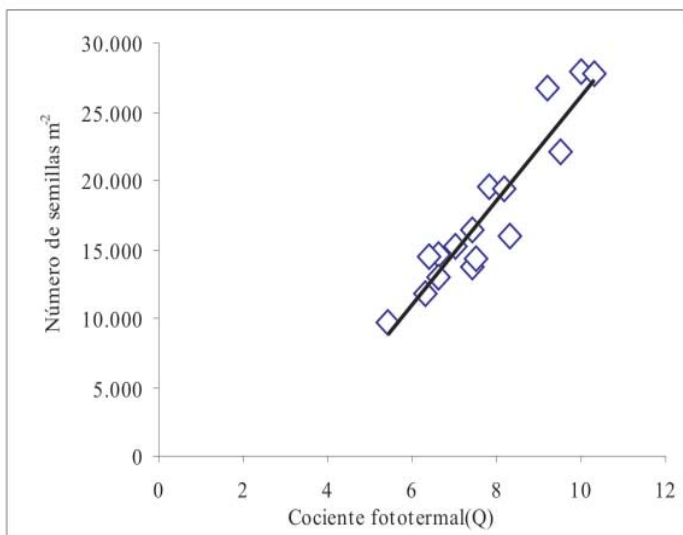


FIGURA 10. Relación entre el número de semillas m^{-2} y cociente fototermal (Q) para los tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000, 2001, 2002 y 2003 ($y = 3787,1x - 11687$; $r^2 = 0,88$), calculado para los 20 días previos a antesis y los 10 días posteriores.

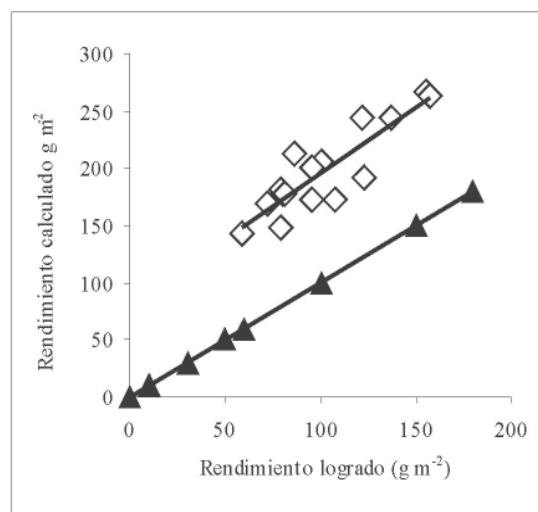


FIGURA 11. Relación entre el rendimiento de semillas logrado y el calculado en base a Q (\diamond) para los tratamientos S1, S2, S3, S4 y S5, en los años 2000, 2001, 2002 y 2003 ($y = 1,155x + 80,54$; $r^2 = 0,80$); (\blacktriangle) indica la relación 1:1.

CUADRO 5. Rendimiento de semillas, peso de 1.000 semillas, cociente fototermal y rendimiento calculado de semillas (Fischer, 1985) para los tratamientos testigos en los cuatro años.

Años	Rendimiento de semillas	Peso de 1.000 semillas	Cociente fototermal	Rendimiento calculado	Diferencia con rendimiento calculado=100%
	g m ⁻²	g	Mj m ⁻² día ⁻¹	g m ⁻²	%
2000	155,7	6,1	0,93	299,6	52
2001	157,5	6,0	0,92	295,4	53
2002	122,5	6,6	0,67	215,1	57
2003	95,8	6,2	0,60	192,6	46

mayores mermas de rendimiento de semillas y que se extiende desde los 35 días previos a antesis, comienzo de encañazón, hasta los 22 días posteriores (tratamientos S3 y S4). Este período coincide con el crecimiento de la panoja que comienza con posterioridad al estado de espiguilla terminal diferenciada y finaliza después de antesis. Los sombreos en estos dos tratamientos además de reducir el peso seco de las panojas en antesis, disminuyeron los índices de fertilidad de las mismas ya que provocaron un incremento significativo (20% respecto a S1) en las cantidades de materia seca de panoja necesarios para fijar una semilla. Aunque la extensión del período crítico pos antesis, debiera confirmarse en futuros estudios ya que en este trabajo no se utilizaron períodos de sombreo de menor duración a los 22 días, queda clara la importancia de esta etapa en la definición del número de granos. Al comparar estos resultados con los publicados para trigo pan se observa una mayor extensión del período crítico en alpiste. Slafer *et al.* (1993, 2003) y Savin y Slafer (1991), con tratamientos de sombreo, demuestran que en el cultivo de trigo, existe un período crítico para la definición del número de granos, que se extiende desde los 20 días prefloración hasta los 10 días postfloración, coincidiendo esta etapa con el momento de crecimiento rápido de la espiga. La mayor extensión del período crítico del alpiste en relación con el de trigo puede estar explicada por: (a) la falta de sincronización, en el desarrollo de las panojas de los macollos, en relación con la del eje principal; (b) el mayor efecto depresivo del sombreo sobre los macollos. Bodega *et al.* (2003) mencionan la desuniformidad en el tamaño de las panojas que presentan tanto las poblaciones locales como las introducciones de al-

piste, siempre mayor la del eje principal que la de los macollos; Slafer *et al.* (1994) informan, que el efecto del sombreo, previo a antesis, produce una mayor reducción en el número de granos por m⁻² en los cultivos de trigo tradicionales que en los semienanos (62 y 42%, respectivamente), además observaron que las reducciones en el número de granos m⁻² fueron mayores sobre los macollos (65%) que sobre el eje principal (45%). En alpiste al igual que en trigo, los tratamientos de sombreo, afectaron el número de granos m⁻², modificando el número de granos por panoja sin producir cambios importantes en el número de panojas m⁻². Estos resultados indican que el sombreo, afectó, principalmente, el crecimiento de las panojas más que la sobrevivencia de las mismas

No obstante esta diferencia en la duración de los períodos críticos de trigo y alpiste nuestros resultados nos llevan a pensar que los mecanismos involucrados en la determinación de los rendimientos, en ambos cultivos, pueden ser similares por lo que podría aplicarse en alpiste el modelo conceptual propuesto por Fischer (1985, 2007). El autor considera que la sobrevivencia de flores, depende de la disponibilidad de carbohidratos para la espiga, durante el período crítico y que cualquier reducción en la disponibilidad de recursos para el cultivo en dicha etapa se traducirá en una reducción importante en el peso seco de las espigas en antesis y concomitantemente en el número de granos por m⁻² y en el rendimiento. Dentro de este contexto el autor indica que las condiciones que posibilitan el logro de altos rendimientos de trigo favorecen el logro de todas o algunas de las siguientes características: (i) un mayor período de crecimiento de la inflorescencia (entre encañazón y antesis), (ii) mayor tasa de crecimiento del cultivo

durante ese período, (iii) mayor partición de materia seca a la espiga durante ese período, (iv) mayor índice de fertilidad (producir más granos por gramo de materia seca de espiga). Al contrastar los indicadores propuestos por Fischer, 1985 con nuestros resultados surge, para alpiste, la importancia de lograr, al comienzo del período de encañazón, un buen desarrollo foliar que permita niveles de intercepción de radiación iguales o superiores al 85-90%. En estas condiciones es posible lograr altas tasas de crecimiento del cultivo y con ello altos valores de partición de materia seca a la panoja con buenos índices de fertilidad. En los tratamientos S1, S2 y S5 con niveles de intercepción iguales o superiores al 85% los valores de partición de materia seca a la panoja se mantuvieron, en promedio, $29\% \pm 2$. Similares valores publicó Bodega (2005) para el cv. CDC María ($33\% \pm 2$) y la población local ($31\% \pm 1,5$). El índice de fertilidad (mg de materia seca de espiga/panoja por grano fijado), aunque muy inferior al mencionado para trigo por Fischer (1985) 10 mg y por Abatte,

(1998) 9,5-16,5 mg, se mantuvo en 4 mg. El peso seco de las panojas en antesis, por su relación con el número de granos fijados, resulta ser un buen indicador para caracterizar el rendimiento de los cultivos de alpiste. El cociente fototermal, calculado para el período comprendido entre los 20 días previos a antesis y los 10 días posteriores (330°C día ; $T_b = 4,5^\circ\text{C}$). integra, en un valor, los efectos ambientales que actuando sobre la tasa de crecimiento del cultivo (radiación) y la duración del período de crecimiento de la panoja (temperatura) dan como resultado los distintos pesos secos de la misma. La utilización del cociente fototermal en los términos que Fischer (1985, 2007), Savin y Slafer (1991) lo propone para trigo, constituye una herramienta importante que nos permitiría caracterizar las potencialidades productivas de alpiste, de las distintas zonas como así también y a partir de los rendimientos potenciales, poder identificar la magnitud de las pérdidas provocadas por problemas de manejo y/o ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- ABATTE, P.E.; F.H. ANDRADE; J.P. CULOT and P.S. BINDRABAN. 1997. Grain yields in wheat: effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.* 54: 245-257.
- ABBATE, P.E.; F.H. ANDRADE; L. LÁZARO; H. BARIFFI; H.G. BERARDOCCO; V.H. INZA and F. MARTURANO. 1998. Grain yields increase in recent Argentine wheat cultivars. *Crop Sci.* 38: 1203-1209.
- ANDRADE, F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research* 41: 1-12.
- ANDRADE, F.H. y V.O. SADRAS. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires. 443 pp
- BODEGA, J.L.; M.A. DE DIOS; R. RODRÍGUEZ y M.M. PEREYRA IRAOLA. 1995. Caracterización agronómica de poblaciones de Alpiste (*Phalaris canariensis* L.). *Revista Facultad de Agronomía Buenos Aires.* 15(2-3): 161-17.
- BODEGA, J.L.; M.A. DE DIOS y M.M. PEREYRA IRAOLA. 2003. Análisis comparativo del rendimiento de semillas y otras características de interés agronómico en poblaciones locales y cultivares introducidos de alpiste. *Rev. Fac. Agron. Bs. As.* 23(2-3).
- BODEGA, G.I. 2005. Efecto de la época y densidad de siembra sobre el crecimiento, rendimiento y sus componentes en CDC María y una población local de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 46 pp
- CAMPOLIETTO, L. 2005. Efecto de la época y densidad de siembra sobre el crecimiento, rendimiento y sus componentes en CDC María y una población local de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 46 pp
- FISCHER, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* (Cambridge) 105: 447-461.

- FISCHER, R.A. 2007. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. *Fiel Crops Research* 105:15-21.
- M.A.G y P. 2010. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Información Estadística Nacional de cultivos.
- SLAFER, G.A.; D.F. CALDERINI; D.J. MIRALLES and M.F. DRECCER. 1994. Preanthesis shading effects on the number of grains of three bread wheat cultivars of different potential number of grains. *Field Crops Research* 36: 31-39.
- SLAFER, G.A.; D.J. MIRALLES; R. SAVIN; M. WHITECHURCH y F.G. GONZÁLEZ. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Satorre, E.H.; Benech; G.A. Slafer; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. 101-163 pp. Ed. Facultad de Agronomía. UBA.
- SLAFER, G.A.; J.L. ARAUS; C. ROYO and L.F. GARCÍA del MORAL. 2005 Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.* 146: 61-70.
- ZADOKS, J.C; T.T. CHANG and C.F. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.